

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-202016

(43)Date of publication of application : 09.08.1996

(51)Int.Cl.

G03F 1/08  
H01L 21/027

(21)Application number : 07-026187

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 20.01.1995

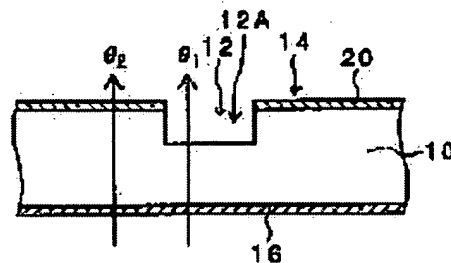
(72)Inventor : UESAWA FUMIKATSU

## (54) HALFTONE TYPE PHASE SHIFT MASK AND METHOD FOR EXPOSING RESIST

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To effectively suppress the fluctuation in the phase differences of the light passing light transparent regions and semi-light shielding regions occurring in a multiinterference effect by forming the light transparent regions and semi-light shielding regions on the front surface of a substrate and forming a single layer of multiinterference preventive film on the rear surface of this substrate.

**CONSTITUTION:** The light transparent regions 12 and the semi-light shielding regions 14 are formed on the front surface of the substrate 10 and the single layer of the multiinterference preventive film 16 is formed on the rear surface of the substrate 10. The multiinterference preventive film 16 is composed of a material having the value of a refractive index  $n_1$  of  $\geq 1.16$  to  $\leq 1.30$ . Further, the thickness  $d_1$  of the multiinterference preventive film 16 is set so as to satisfy  $d_1 = (\lambda / 4n_1) \cdot (2m+1)$  when the wavelength of exposing light is defined as  $\lambda$  and the value of the refractive index of the material constituting the multiinterference preventive film 16 as  $n_1$ . In the equation,  $m: 0, 1, 2, \dots$ . The substrate 10 consists of quartz and the light transparent regions 12 consist of recessed parts 12A formed on the substrate 10. A semi-light shielding layer 20 consisting of Cr is formed in the semi-light shielding regions 14.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

BEST AVAILABLE COPY

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-202016

(43) 公開日 平成8年(1996)8月9日

|                           |      |        |                |                  |
|---------------------------|------|--------|----------------|------------------|
| (51) Int.Cl. <sup>5</sup> | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I            | 技術表示箇所           |
| G 0 3 F 1/08              | A    |        |                |                  |
| H 0 1 L 21/027            |      |        | H 0 1 L 21/ 30 | 5 0 2 P<br>5 2 8 |

審査請求 未請求 請求項の数10 F D (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平7-26187

(22) 出願日 平成7年(1995)1月20日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 上澤 史且

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

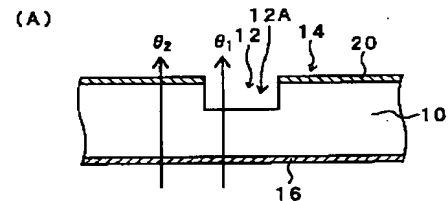
(74) 代理人 弁理士 山本 孝久

(54) 【発明の名称】 ハーフトーン型位相シフトマスク及びレジスト露光方法

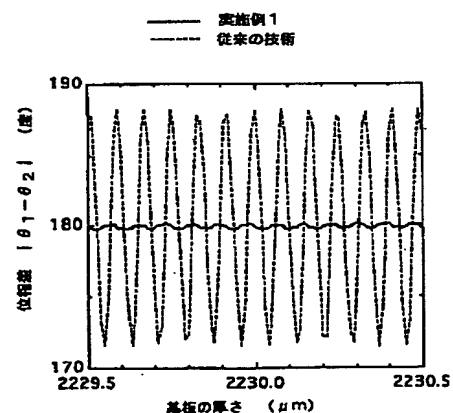
(57) 【要約】

【目的】 多重干渉効果に起因した光透過領域と半遮光領域とを通過する光の位相差の変動を効果的に抑制し得るハーフトーン型位相シフトマスクを提供する。

【構成】 ハーフトーン型位相シフトマスクは、基板10の表面側に光透過領域12と半遮光領域14が形成され、基板10の裏面に単層若しくは多層の多重干渉防止膜16が形成されている。あるいは又、両面が平行な基板の一方の面に、光透過領域と半遮光領域と単層若しくは多層の多重干渉防止膜が形成されている。



(B)  
(実施例1における基板の厚さと位相差の関係)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板の表面側に光透過領域と半遮光領域が形成され、基板の裏面に単層の多重干渉防止膜が形成されていることを特徴とするハーフトーン型位相シフトマスク。

【請求項2】両面が平行な基板の表面側に光透過領域と半遮光領域が形成され、該基板の少なくとも表面に単層の多重干渉防止膜が形成されていることを特徴とするハーフトーン型位相シフトマスク。

【請求項3】多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率 $n_1$ の値が $1.16$ 以上 $1.30$ 以下であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のハーフトーン型位相シフトマスク。

【請求項4】多重干渉防止膜の厚さ $d_1$  (nm) は、露光光の波長を $\lambda$  (nm)、多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率の値を $n_1$ としたとき、 $(\lambda/4n_1) \cdot (2m+1) - 10 \leq d_1 \leq (\lambda/4n_1) \cdot (2m+1) + 10$  (但し、 $m=0, 1, 2 \dots$ ) を満足することを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載のハーフトーン型位相シフトマスク。

【請求項5】多重干渉防止膜を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値が0ではないことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のハーフトーン型位相シフトマスク。

【請求項6】基板の表面側に光透過領域と半遮光領域が形成され、基板の裏面に多層の多重干渉防止膜が形成されていることを特徴とするハーフトーン型位相シフトマスク。

【請求項7】両面が平行な基板の表面側に光透過領域と半遮光領域が形成され、該基板の少なくとも表面に多層の多重干渉防止膜が形成されていることを特徴とするハーフトーン型位相シフトマスク。

【請求項8】多重干渉防止膜の各層を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値が0であることを特徴とする請求項6又は請求項7に記載のハーフトーン型位相シフトマスク。

【請求項9】多重干渉防止膜を構成する各層の内、少なくとも1層を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値が0ではないことを特徴とする請求項6又は請求項7に記載のハーフトーン型位相シフトマスク。

【請求項10】請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載のハーフトーン型位相シフトマスクを用いて、基体上に形成されたレジスト材料を露光することを特徴とするレジスト露光方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば半導体装置の製造における各種パターン形成技術等に用いられるハーフトーン型位相シフトマスク、及びかかるハーフトーン型位相シフトマスクを用いたレジスト露光方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体装置の製造におけるパターン転写工程、所謂リソグラフィ工程で使用されるフォトマスクは、フォトマスク上のパターン形状を例えばウエハ上に形成されたレジスト材料に転写するために用いられる。半導体装置等におけるパターン加工の寸法は年々微細化している。そして、遮光領域と光透過領域とから構成された従来型のフォトマスクでは、リソグラフィ工程で使用する露光装置の露光光の波長程度の解像度を得ることができず、半導体装置等の製造において要求される解像度を得ることが困難になりつつある。そこで、近年、このような従来型のフォトマスクに替わって、光の位相を異ならせる位相シフト領域を具備した、所謂位相シフトマスクが用いられるようになってきている。位相シフトマスクを用いることによって、従来型のフォトマスクでは形成不可能な微細パターンの形成が可能とされている。

【0003】従来の位相シフトマスクは、光透過領域、光を遮光する遮光領域、及び光透過領域を通過する光の位相と異なる位相の光を透過させる光透過物質から成る位相シフト領域から構成されている。典型的な従来のエッジ強調型位相シフトマスクの模式的な一部切断図を図26の(A)、(B)及び(C)に示す。図中、100は基板、112は光透過領域、116は遮光領域、118は位相シフト領域、122は光透過物質層、124は遮光層である。光透過物質層122を設けることによって、あるいは又、基板100に凹部112Aを形成することによって、光透過領域112を通過した光の位相と、位相シフト領域118を通過した光の位相を、例えば180度相違させることができる。

【0004】従来の位相シフトマスクにおいては、位相シフト領域の形状あるいは位置を精確に制御しないと微細なパターンの形成ができない。また、パターン形状によっては、位相シフト領域が、光の干渉を本来受けてはならない他の光透過領域にまで光の干渉を生じさせる場合がある。このような場合には、位相シフト領域を形成することができない。

【0005】このような従来の位相シフトマスクの問題点を解決するための位相シフトマスクの一種に、半遮光領域と光透過領域とから構成され、半遮光領域を通過した光の位相と光透過領域を通過した光の位相とが例えば180度異なるハーフトーン型位相シフトマスクがある。半遮光領域には、光透過率が数%～数10%の僅かに露光光を透過させる例えばCrから成る半遮光層が形成されている。

【0006】ハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、光透過領域を除く全面に半遮光領域が形成されている。ハーフトーン型位相シフトマスクを用いてレジスト材料を露光する方法は、コンタクトホールパターンのような孤立パターンの解像度や焦点深度を向上させるため

に極めて有効な方法である。そして、ハーフトーン型位相シフトマスクは、上述の従来の位相シフトマスクの問題点を解決できる。しかも、従来の位相シフトマスクにおいて要求される光透過物質層の形成及び遮光領域の形成といった2回の形成工程の代わりに、半遮光領域の形成という1回の形成工程で済むために、CAD工程及びハーフトーン型位相シフトマスクの作製工程が容易となり、しかも、マスク作製時に欠陥が生成される度合も低いという利点を有する。

【0007】従来のハーフトーン型位相シフトマスクの模式的な一部切断図を図27の(A)、(B)、(C)及び(D)に示す。図中、参照番号10は基板、12は光透過領域、14は半遮光領域である。図27の(A)及び(B)に示したハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、半遮光領域14は、半遮光層20及び位相シフト層22から構成されている。位相シフト層22は、光透過領域12を通過した光の位相と半遮光領域14を通過した光の位相を異ならせるための光透過物質から成る。あるいは、図27の(C)に示すハーフトーン型位相シフトマスクは、所謂基板掘り込み型である。基板10に凹部12Aを形成することによって、光透過領域12を通過した光の位相と半遮光領域14を通過した光の位相を異ならせることができる。更には、図27の

(D)に示すハーフトーン型位相シフトマスクは、半遮光領域14に、単層で位相シフトと光透過率制御を同時に担えるような薄膜20Aが成膜されている、所謂単層型のハーフトーン型位相シフトマスクである。

【0008】ハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、半遮光領域14の振幅透過率は、0より大きく且つレジスト材料を解像させない程度、例えば20~45%程度である。尚、光強度透過率で表現すると、4~20%程度である。従来、半遮光領域14の光強度透過率は、マスク全面において、一様な値に設定されている。そして、ハーフトーン型位相シフトマスクに設けられたパターン形状を例えばウエハ上に形成されたレジスト材料に転写するために、所定の光強度透過率及び位相を有する半遮光領域14を通過した光と、半遮光領域14とは例えば180度位相が異なる光透過領域12を通過した光の干渉を利用する。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】例えば、図27の(C)に示した基板掘り込み型のハーフトーン型位相シフトマスクにおいて、石英から成る基板10そのものの厚

$$\theta = 2\pi \cdot n_s \cdot d_s / \lambda + 2\pi \cdot n_H \cdot d_H / \lambda + \theta_{ch} + \theta_b \quad \text{式(2)}$$

【0015】ここで、 $\theta_{ch}$ は多重干渉効果による位相の変化を表す項であり、基板の厚さ $d_s$ が( $m\lambda/2n_s$ )のピッチで変化すると、

$$T = \lambda / 2n_s \quad \text{式(3)}$$

の周期で振動する。また、 $\theta_b$ は、半遮光層と基板の境界面での位相変化量であり、半遮光層の光吸収率が増す

さが変化した場合の、光透過領域12を通過した光の位相と半遮光領域14を通過した光の位相との差である位相差の変化の計算結果を図28に示す。図28において、横軸は基板10の厚さ(単位: $\mu m$ )であり、縦軸は位相差 $|\theta_1 - \theta_2|$ (単位:度)である。尚、図27の(C)に示すように、位相 $\theta_1$ は、光透過領域12を通過した光の位相であり、位相 $\theta_2$ は、半遮光領域14を通過した光の位相である。以下においても同様である。

【0010】基板10の厚さが変化する理由としては、基板間の製造ばらつきや基板内の平坦度ばらつきを挙げることができる。図28から明らかなように、位相差は基板の厚さ変化に応じて激しく変化する。位相差の最大値と最小値との差を「位相差の振幅」と定義する。位相差の振幅を求めた結果、約17度であった。

【0011】基板間の製造ばらつきは5インチウエハ露光用の基板で約160 $\mu m$ と報告されている。このことは、どんなに基板10に形成すべき凹部12Aの深さを正確に制御しても、基板間で位相差は約 $\pm 8.5$ 度も変化してしまうことを意味する。また、同一基板内での面内厚さばらつきもこれに準ずる値を取ることが知られており、同様の理由で位相差の基板面内ばらつきも約 $\pm 8.5$ 度に及んでしまうことになる。ハーフトーン型位相シフトマスクの位相差の変化はベストフォーカスのシフトや焦点深度の低下を引き起こし、このままでは実用上極めて問題である。例えば、位相差が10度変化した場合、ベストフォーカスは0.5 $\mu m$ 程度シフトし、焦点深度も0.5 $\mu m$ 程度変化することがある。

【0012】図28に示したように、ハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、基板10の厚さの変化により位相差が激しく振動する。この原因は、主に、ハーフトーン型位相シフトマスク内で生じる光の多重干渉効果にあると考えられている。

【0013】一般に、透明な単層材料から成る基板を波長 $\lambda$ の光が通過した場合の位相の変化 $\theta$ は、基板を構成する材料の屈折率を $n_s$ 、基板の厚さを $d_s$ とした場合、次式で与えられる。

$$\theta = 2\pi \cdot n_s \cdot d_s / \lambda \quad \text{式(1)}$$

【0014】ところが、この基板の表面に例えばCrのような半遮光層が形成されている場合の位相の変化 $\theta$ は、半遮光層を構成する材料の屈折率を $n_H$ 、半遮光層の厚さを $d_H$ とすると、次式で与えられる。

ほど大きくなる。

【0016】図28の計算をする際には、図27の

(C)に示した構造のハーフトーン型位相シフトマスクを用いた。尚、計算に用いた各パラメータを以下に示す。

$$\lambda = 248 \text{ nm}$$

$ds = 2230 \mu m$ 前後の値

$ns = 1.51$

$ks = 0$

$dn = 0.05 \mu m$

$nn = 1.7$

$kn = 2.0$

尚、 $ns$ 及び $nn$ は複素屈折率の実数部の値であり、 $ks$ 及び $kn$ は複素屈折率の虚数部の値である。尚、これらの計算及び以下の計算においては、多層膜シミュレーターを用いている。多層膜シミュレーターに関しては、例えば、文献 "Modeling Projection Printing of Positive Photoresists", F.H. Dill, et al., IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, Vol. ED-22, No. 7, July 1975, pp456-464 を参照のこと。

【0017】図29に、図27の(C)に示した各々の光路の位相 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ の、基板10の厚さ変化に対する変化を示す。図29中、矢印で示したこの2つの位相 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ の差が、ハーフトーン型位相シフトマスクにおける位相差である。図29に示した計算は、基板の厚さを $0.01 \mu m$ ピッチで変化させて行っている。

【0018】つまり図29の2つの位相 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ を示す点線及び実線が常に等間隔で変化すれば問題はないのであるが、図29を注意深く見ると、点線及び実線は直線ではない。即ち、式(2)の項 $\theta_{ch}$ (多重干渉効果による位相の変化を表す項)が基板の厚さ変化に応じて正負に変化するので、位相 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ の変化は単純な右下がりの直線にはならない。この点線及び実線で示した位相 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ のそれぞれの差分( $\theta_1$ 及び $\theta_2$ のそれぞれのデータ間の差分)を計算した結果を、図30に示す。図30に示した値は、基板の厚さが $0.01 \mu m$ 変化したとき、各々の位相 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ が何度変化するかの変化分を示している。図30の横軸の1単位は $0.01 \mu m$ であり、縦軸はかかる1単位分に相当する位相の変化分( $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ )である。もしも多重干渉効果がなければ(言い換えれば、 $\theta_{ch} = 0$ ならば)、これらの $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ 値は、式(1)に $ds = 0.01 \mu m$ を代入した値、

$\Delta\theta_1$ 又は $\theta_2 = 21.9^\circ$  式(4)

となり、一定値を取るはずである。

【0019】然るに、現実には図30に示すように、位相の変化分( $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ )は振動する。この振動は、光透過領域12を通過した光の位相( $\theta_1$ )の変化分 $\Delta\theta_1$ よりも、半遮光領域14を通過した光の位相( $\theta_2$ )の変化分 $\Delta\theta_2$ の方が大きい。これは、半遮光層20と基板10との界面における反射率が高く、そのため多重干渉効果もより顕著になるためであると考えられる。

【0020】従って、本発明の目的は、多重干渉効果に起因した光透過領域と半遮光領域とを通過する光の位相差の変動を効果的に抑制し得るハーフトーン型位相シフトマスクを提供することにある。更に、本発明の目的

は、基板間及び基板面内の基板の厚さの変化に起因した位相差の振動を抑制し得るハーフトーン型位相シフトマスクを提供することにある。また、本発明の目的は、かかるハーフトーン型位相シフトマスクを用いたレジスト露光方法を提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するための本発明の第1の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクは、基板の表面側に光透過領域と半遮光領域が形成され、基板の裏面に単層の多重干渉防止膜が形成されていることを特徴とする。

【0022】上記の目的を達成するための本発明の第2の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクは、両面が平行な基板の表面側に光透過領域と半遮光領域が形成され、基板の少なくとも表面に単層の多重干渉防止膜が形成されていることを特徴とする。

【0023】本発明の第1又は第2の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率 $n_1$ の値が $1.16$ 以上 $1.30$ 以下であることが好ましい。更には、多重干渉防止膜の厚さ $d_1$ (nm)は、露光光の波長を $\lambda$ (nm)、多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率の値を $n_1$ としたとき、 $(\lambda/4n_1) \cdot (2m+1) - 10 \leq d_1 \leq (\lambda/4n_1) \cdot (2m+1) + 10$ (但し、 $m=0, 1, 2, \dots$ )を満足することが好ましい。

【0024】あるいは又、本発明の第1又は第2の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、多重干渉防止膜を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値が0ではないことが好ましい。

【0025】上記の目的を達成するための本発明の第3の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクは、基板の表面側に光透過領域と半遮光領域が形成され、基板の裏面に多層の多重干渉防止膜が形成されていることを特徴とする。

【0026】上記の目的を達成するための本発明の第4の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクは、両面が平行な基板の表面側に光透過領域と半遮光領域が形成され、基板の少なくとも表面に多層の多重干渉防止膜が形成されていることを特徴とする。

【0027】本発明の第3又は第4の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、多重干渉防止膜の各層を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値が0であることが好ましい。あるいは又、多重干渉防止膜を構成する各層の内、少なくとも1層を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値が0ではないことが好ましい。

【0028】上記の目的を達成するための本発明のレジスト露光方法は、上述のハーフトーン型位相シフトマスクを用いて、基体上に形成されたレジスト材料を露光することを特徴とする。

【0029】

【作用】本発明のハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、基板に単層若しくは多層の多重干渉防止膜が形成されている。これによって、式(2)の多重干渉効果による位相の変化を表す項 $\theta_{ch}$ をキャンセルしあるいは又 $\theta_{ch}$ の影響を減ずることができ、基板間あるいは基板面内の基板厚さばらつきによって生じる位相差の変動を減少させることができる。

#### 【0030】

【実施例】以下、図面を参照して、好ましい実施例に基づき、本発明のハーフトーン型位相シフトマスクを説明する。尚、実施例1～実施例4、及び実施例1.2～実施例1.6は、本発明の第1の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクに関し、実施例5は、本発明の第2の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクに関する。また、実施例6～実施例1.0は、本発明の第3の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクに関し、実施例1.1は、本発明の第4の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクに関する。実施例1～実施例1.1においては、光学系における反射防止技術を応用して、位相差の振動を抑制している。一方、実施例1.2～実施例1.6においては、光学系における反射防止に着目するよりは寧ろ、位相差の振動そのものの抑制に着目している。

【0031】尚、ウェハ上に形成されたレジスト材料に対して露光光により転写パターン形状等を形成するとき、縮小投影に使用されるものをレティクル、一対一投影に使用されるものをマスクと称したり、あるいは原盤に相当するものをレティクル、それを複製したものをマスクと称したりすることがあるが、本明細書においては、このような種々の意味におけるレティクルやマスクを総称してマスクと呼ぶ。

【0032】(実施例1) 実施例1～実施例4は、本発明の第1の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクに関する。図1の(A)に模式的な一部断面図を示すように、実施例1のハーフトーン型位相シフトマスクは、基板10の表面側に光透過領域12と半遮光領域14が形成され、基板10の裏面に単層の多重干渉防止膜16が形成されている。多重干渉防止膜16は、屈折率 $n_1$ の値が1.16以上1.30以下の材料から構成されている。更には、多重干渉防止膜16の厚さ $d_1$ は、露光光の波長を $\lambda$ 、多重干渉防止膜16を構成する材料の屈折率の値を $n_1$ としたとき、 $d_1 = (\lambda / 4n_1) \cdot (2m + 1)$  (但し、 $m = 0, 1, 2, \dots$ ) を満足する。基板10は石英から成り、光透過領域12は、基板10に形成された凹部12Aから成る。即ち、実施例1は、所謂基板掘り込み型のハーフトーン型位相シフトマスクである。また、半遮光領域14にはCrから成る半遮光層20が形成されている。

【0033】実施例1においては、理想的な多重干渉防止膜16を基板10の裏面(Crから成る半遮光層20が形成された基板10の側と反対側)に形成するとし

た。これによって、多重干渉効果を完全に抑制することが可能である。理想的な多重干渉防止膜16(この場合、言い換えれば、理想的な反射防止膜でもある)の屈折率の値 $n_1$ 及び厚さ $d_1$ は、

$$n_1 = \sqrt{n_s} = \sqrt{1.51} = 1.229$$

$$d_1 = \lambda / (4n_1) = 0.248 / (4 \times 1.229) = 0.050 \mu m$$

で与えられる。

【0034】このような構成を有する多重干渉防止膜16を基板10の裏面に形成したときの、光透過領域12を通過した光の位相 $\theta_1$ と半遮光領域14を通過した光の位相 $\theta_2$ との位相差( $|\theta_1 - \theta_2|$ )の計算結果と、基板10の厚さの関係を図1の(B)に示す。尚、図1の(B)中、点線は多重干渉防止膜を設けない従来のハーフトーン型位相シフトマスク(図27の(C)に示した構造を参照)における計算結果である。また、光透過領域12を通過した光の位相 $\theta_1$ の変化、及び半遮光領域14を通過した光の位相 $\theta_2$ の変化の計算結果と、基板10の厚さの関係を図2の(A)に示す。更に、光透過領域12を通過した光の位相 $\theta_1$ の変化分 $\Delta\theta_1$ 、及び半遮光領域14を通過した光の位相 $\theta_2$ の変化分 $\Delta\theta_2$ を、図2の(B)に示す。尚、図2の(B)の横軸は、図29と同じである。

【0035】図1の(B)から明らかなように、多重干渉防止膜16を施すことにより、多重干渉防止膜16によって式(2)の $\theta_{ch}$ の項をキャンセルすることができ、位相差の振幅( $|\theta_1 - \theta_2|$ の最大値と最小値の差)をほぼ0にすることができる。また位相の変化分(図2の(B)参照)は、 $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ 共、式(4)で求めた値(21.9度)で概ね一定となっていることが判る。

【0036】(実施例2) 実施例2は実施例1の変形であり、実施例2のハーフトーン型位相シフトマスクは実施例1と同様の構成を有する。実施例1ではあくまでも理想的な多重干渉防止膜を想定したが、現実には、屈折率 $n_1$ の値が1.229である適切な材料は今のところ知られていない。そこで、多重干渉防止膜16の屈折率 $n_1$ と厚さ $d_1$ をパラメータとして、位相差の振幅を計算した結果を図3に示す。図3に示した等高線は、同じ位相差の振幅を表わし、等高線の差は位相差の振幅1度に相当する。また、図4には、図3において $d_1 = 0.050 \mu m$ としたときの、位相差の振幅と多重干渉防止膜16の屈折率 $n_1$ の関係を示す。

【0037】図4から明らかなように、位相差の振幅を0にすることは無理としても、多重干渉防止膜16の屈折率 $n_1$ と厚さ $d_1$ を適宜選択することによって、或る範囲内に位相差の振幅を納めることが可能である。位相差の振幅の許容範囲を5度( $\pm 2.5$ 度)とした場合、多重干渉防止膜16の屈折率 $n_1$ 及び厚さ $d_1$ が取るべき値の領域を図3に太線で示した。即ち、多重干渉防止膜1

6を構成する材料の屈折率 $n_1$ の値は1.16以上1.30以下となる。この領域内の屈折率 $n_1$ を有する材料として、東京応化工業株式会社製のレジスト用上塗り反射防止膜TSP-3がある。この材料の屈折率 $n_1$ は1.295である。厚さ $d_1$ が $0.05\mu\text{m}$ のTSP-3から成る多重干渉防止膜16を基板10の裏面に塗布した場合の位相差を、基板10の厚さを変化させて計算した。その結果を図5に示す。多重干渉防止膜16を設けることによって、式(2)の $\theta_{ch}$ の項の影響を減ずることができる、図5から明らかなように、位相差の振幅を約4度にまで低減させることができる。

【0038】実施例1～実施例2にて説明した基板掘込み型のハーフトーン型位相シフトマスクは、例えば、以下の工程で作製することができる。まず、例えば石英から成る基板10の裏面に多重干渉防止膜16を形成する。形成方法は塗布法やCVD法等、多重干渉防止膜を構成する材料によって適宜選択すればよい。次に、基板10の表面上に、光強度透過率が例えば10%となるように、例えばクロムから成る半遮光層20をスパッタリング法によって形成する(図6の(A)参照)。次いで、半遮光層20上にレジスト30を塗布する(図6の(B)参照)。次に、描画装置からの電子線による描画工程及びレジスト30の現像工程を行った後、塩素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中での半遮光層20のエッチング(図6の(C)参照)、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中での石英から成る基板10のエッチング工程、レジスト30の剥離工程を経て、最終的に図1の(A)に示した構造のハーフトーン型位相シフトマスクを得ることができる。

【0039】(実施例3)実施例1及び実施例2においては、所謂基板掘込み型のハーフトーン型位相シフトマスクを例にとり説明したが、本発明のハーフトーン型位相シフトマスクはこのような形式に限定されるものではない。実施例3のハーフトーン型位相シフトマスクは、図7の(A)に示すように単層型である。即ち、半遮光領域14に、単層で位相シフトと光透過率制御を同時に担えるような薄膜20A(MoS<sub>2</sub>O<sub>3</sub>から成り、複素屈折率の実数部の値が1.97、虚数部の値が0.35である)が成膜されている。この単層型のハーフトーン型位相シフトマスクは、基板10と半遮光層20Aとの界面の反射率が低いため、位相差の振幅を、基板掘込み型のハーフトーン型位相シフトマスクより小さくすることができる。単層型のハーフトーン型位相シフトマスクを構成する基板10の裏面にTSP-3から成る多重干渉防止膜16を塗布した場合の、位相差の振幅の計算結果を図7の(B)に示す。図7の(B)から明らかなように、位相差の振幅を、多重干渉防止膜16を形成していない場合(図27の(D)に示した構造を参照)の約9度から、約2度に低減させることができる。尚、薄膜20Aは、その他、例えば、CrON、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>、

SiO、Si<sub>x</sub>O<sub>y</sub>、SiN<sub>x</sub>、SiC等から形成することができる。

【0040】(実施例4)実施例1～実施例2では、所謂基板掘込み型のハーフトーン型位相シフトマスクに関して説明した。しかしながら、本発明のハーフトーン型位相シフトマスクはこのような形式に限定されるものではなく、図8に示すような、半遮光層20及び位相シフト層22から半遮光領域14が構成されている構造であってもよい。例えば図8の(A)に示す構造を有するハーフトーン型位相シフトマスクの作製方法の概要を、以下に説明する。まず、例えば石英から成る基板10の裏面に多重干渉防止膜16を形成する。次いで、石英製の基板10の表面上に、例えばSOGから成り所定厚さの位相シフト層22を例えば塗布法にて形成する(図9の(A)参照)。次に、光強度透過率が例えば10%となるように、一定厚さの半遮光層20を形成する。即ち、位相シフト層22の上に、例えばクロムから成る半遮光層20を例えばスパッタリング法によって形成する。次いで、半遮光層20上にレジスト30を塗布する(図9の(B)参照)。次に、電子線描画により光透過領域形成予定領域上のレジスト30に電子線を照射し、レジストを現像した後(図3の(C)参照)、塩素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中でのクロムから成る半遮光層20のエッチング、四フッ化炭素及び酸素の混合ガスによるプラズマ中での位相シフト層22のエッチングを行い、レジスト30を剥離する。こうして、図8の(A)に示したハーフトーン型位相シフトマスクを作製することができる。位相シフト層22と半遮光層20の形成順序を逆にすれば、図8の(B)に示したハーフトーン型位相シフトマスクを作製することができるので、詳細な説明は省略する。尚、ハーフトーン型位相シフトマスクの作製時、ポジ型レジスト30を使用したか、ネガ型レジストを使用すれば、ドットパターンやラインパターンを形成することができる。

【0041】(実施例5)実施例1～実施例4においては、多重干渉防止膜16を基板10の裏面に形成した。一方、実施例5は、本発明の第2の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクに関する。即ち、実施例5のハーフトーン型位相シフトマスクは、両面が平行な基板10の表面側に光透過領域12と半遮光領域14が形成され、基板0の少なくとも表面に(実施例5においては表面のみに)単層の多重干渉防止膜が形成されている。図10の(A)、(B)及び(C)に実施例5のハーフトーン型位相シフトマスクの模式的な一部断面図を示す。

【0042】図10の(A)に示したハーフトーン型位相シフトマスクは、基板10の表面側に多重干渉防止膜16が形成されており、その上に、位相シフト層22及び半遮光層20から成る半遮光領域14が形成されている。光透過領域12にも多重干渉防止膜16が形成されている。図10の(B)に示したハーフトーン型位相シ



フトマスクは、基板10の表面側に多重干渉防止膜16が形成されており、その上に、半遮光層20及び位相シフト層22から成る半遮光領域14が形成されている。光透過領域12にも多重干渉防止膜16が形成されている。図10の(C)に示したハーフトーン型位相シフトマスクは、単層型であり、基板10の表面側に多重干渉防止膜16が形成されており、その上に、単層で位相シフトと光透過率制御を同時に担えるような薄膜20Aが成膜されている。光透過領域12にも多重干渉防止膜16が形成されている。

【0043】尚、図示しないが、多重干渉防止膜を基板の両面に形成してもよい。

【0044】(実施例6) 実施例6～実施例10は、本発明の第3の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクに関する。実施例6～実施例7においては、多重干渉防止膜の各層を構成する材料として、複素屈折率の虚数部の値が0であるものを用いた。一方、実施例8～実施例10においては、多重干渉防止膜を構成する各層の内、少なくとも1層を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値が0ではないものを用いた。尚、実施例6～実施例10におけるハーフトーン型位相シフトマスクは、図7の(A)に示した所謂単層型のハーフトーン型位相シ

$$\begin{aligned} \tan^2(2\pi \cdot n_1 \cdot d_1 / \lambda) &= \{n_1^2(n_0 - n_s)(n_s n_0 - n_2^2)\} / \{(n_s n_1^2 - n_0 n_2^2)(n_s n_0 - n_1^2)\} \quad \text{式(5)} \\ \tan^2(2\pi \cdot n_2 \cdot d_2 / \lambda) &= \{n_2^2(n_0 - n_s)(n_s n_0 - n_1^2)\} / \{(n_s n_1^2 - n_0 n_2^2)(n_s n_0 - n_2^2)\} \quad \text{式(6)} \end{aligned}$$

【0047】特に、

$$d_1 = \lambda(2m+1) / 4n_1$$

の時に $n_2$ は極値をとる。尚、 $m=0$ 、 $\lambda=248\text{nm}$ とすれば、 $n_1=1.295$ であるので、 $d_1=48\text{nm}$ となる。

【0048】このような多層構造を有する反射防止膜の知見を、多層構造を有する多重干渉防止膜に適用することによって、多重干渉効果の抑制を行うことができる。

$$d_1 = \lambda(2m+1) / 4n_1 = 48 \times (2m+1) \quad \text{nm}$$

のとき、式(5)及び式(6)より、

$$n_2 = 1.59$$

$$d_2 = \lambda(2m+1) / 4n_2$$

$$= 39 \times (2m+1) \quad \text{nm}$$

が $n_2$ の極値解として得られる。

【0050】この理想的な光学条件に近い第2層16Bを構成する物質として、KCl( $n_2=1.60$ 、 $k_2=0$ )を用いた場合の、第1層16A及び第2層16Bの膜厚 $d_1$ 、 $d_2$ に対する位相差の振幅のコンター図を図13に示した。尚、図13の等高線は位相差の振幅を表し、等高線の間隔は1度である。以下のコンター図においても同様である。図13の斜線で示した領域内に両者の膜厚を収めるように、基板10の裏面に2層構造の多重干渉防止膜を形成すれば、位相差の振幅は1度以下に

フトマスクとしたが、図1の(A)あるいは図8に示した構造を有するハーフトーン型位相シフトマスクに適用できることは勿論である。

【0045】実施例2においては、東京応化工業株式会社製のレジスト用上塗り反射防止膜TSP-3( $n=1.295$ )を基板10の裏面に塗布したが、位相差の振幅は4度ほど残留する(図5参照)。仮に、位相差の振幅の許容度を5度以下( $\pm 2.5$ 度以内)として、多重干渉防止膜16の膜厚 $d_1$ の許容範囲を求めた結果、最大膜厚と最小膜厚の差は10nmであった(図11参照)。

【0046】反射防止膜を多層構造にすることにより、既存の物質を用いて完全な反射防止が実現できることは、光学の分野ではよく知られている。今、図12の(A)に示すような第1層16A及び第2層16Bから成る2層構造の多重干渉防止膜を考えたとき、空気の屈折率を $n_0$ 、基板の屈折率を $n_s$ 、第1層16Aの屈折率を $n_1$ 、厚さを $d_1$ 、第2層16Bの屈折率を $n_2$ 、厚さを $d_2$ とすれば、以下の式を満足する全ての $n_1$ 、 $n_2$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ の組合せが解である。即ち、完全な反射防止を達成することができる。

$$(m=0, 1, 2, \dots) \quad \text{式(7)}$$

例えば第1層16AにTSP-3( $n_1=1.295$ 、 $k_1=0$ )を用いた場合の、TSP-3の厚さ $d_1$ と第2層16Bを構成する物質の屈折率 $n_2$ の関係を図12の(B)に示す。

【0049】そして、 $\lambda=248\text{nm}$ 、 $n_1=1.295$ のとき、即ち、

抑えることができる。また、TSP-3から成る第1層16Aの膜厚を45～51nmの範囲内に収めれば(正確には $48 \times (2m+1) - 3\text{nm}$ から $48 \times (2m+1) + 3\text{nm}$ の範囲、但し、 $m=0, 1, 2, \dots$ )、第2層16Bの膜厚に依存せずに、位相差の振幅を5度以内に抑えることができる。

【0051】(実施例7) 実施例6は極値付近の解であったが、 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ が式(5)及び式(6)を満たしてさえいれば、多重干渉防止膜として機能する。第1層16AにTSP-3( $n_1=1.295$ 、 $k_1=0$ )を用い、第2層16BにSiON( $n_2=1.7$ 、 $k_2=0$ )を用いた実施例7のハーフトーン型位相シフトマスクにおけるコンター図を図14に示す。この場合には、

$$d_1 = 48 \times (2m_1 + 1) + 7 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_1 = 0, 1, 2, \dots)$$

$$d_2 = 37 \times (2m_2 + 1) - 21 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_2 = 0, 1, 2, \dots)$$

又は、

$$d_1 = 48 \times (2m_1 + 1) - 7 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_1 = 0, 1, 2, \dots)$$

$$d_2 = 37 \times (2m_2 + 1) + 21 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_2 = 0, 1, 2, \dots)$$

を概ね満足する付近の膜厚(図14中、斜線を付した領域)にて第1層及び第2層を形成すれば、位相差の振幅を1度以内に抑えることができる。実際には、位相差の振幅を例えば5度以内に抑えるように、第1層及び第2層の膜厚 $d_1$ 、 $d_2$ を設定すればよい。尚、 $m_1$ 及び $m_2$ の値は、同じ値であっても異なる値であってもよい。以下の説明においても同様である。

【0052】(実施例8) 実施例8においては、第1層にTSP-3( $n_1=1.295$ ,  $k_1=0$ )を用い、第2層にSiN( $n_2=2.1$ ,  $k_2=0$ )を用いた。実施例8におけるコンター図を図15に示す。この場合には、

$$d_1 = 48 \times (2m_1 + 1) + 11 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_1 = 0, 1, 2, \dots)$$

$$d_2 = 30 \times (2m_2 + 3) - 25 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_2 = 0, 1, 2, \dots)$$

又は、

$$d_1 = 48 \times (2m_1 + 1) - 11 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_1 = 0, 1, 2, \dots)$$

$$d_2 = 30 \times (2m_2 + 1) + 25 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_2 = 0, 1, 2, \dots)$$

を概ね満足する付近の膜厚(図15中、斜線を付した領域)にて第1層及び第2層を形成すれば、位相差の振幅を1度以内に抑えることができる。実際には、位相差の振幅を例えば5度以内に抑えるように、第1層及び第2層の膜厚 $d_1$ 、 $d_2$ を設定すればよい。

【0053】(実施例9) 実施例6～実施例8においては第1層としてTSP-3を用いたが、実施例9においては、代わりに、東京応化工業株式会社製のレジスト用上塗り反射防止膜TSP-5( $n_1=1.50$ ,  $k_1=0$ )を用い、第2層にSiNを用いた。実施例9におけるコンター図を図16に示す。この場合には、

$$d_1 = 41 \times (2m_1 + 1) + 11 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_1 = 0, 1, 2, \dots)$$

$$d_2 = 30 \times (2m_2 + 1) - 17 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_2 = 0, 1, 2, \dots)$$

又は、

$$d_1 = 41 \times (2m_1 + 1) - 11 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_1 = 0, 1, 2, \dots)$$

$$d_2 = 30 \times (2m_2 + 1) + 17 \text{ nm} \quad (\text{但し, } m_2 = 0, 1, 2, \dots)$$

を概ね満足する付近の膜厚(図16中、斜線を付した領域)にて第1層及び第2層を形成すれば、位相差の振幅を1度以内に抑えることができる。実際には、位相差の振幅を例えば5度以内に抑えるように、第1層及び第2層の膜厚 $d_1$ 、 $d_2$ を設定すればよい。

【0054】(実施例10) 実施例10においては、第1層にSiON( $n=1.7$ ,  $k=0$ )を用い、第2層にSiNを用いた。実施例10におけるコンター図を図17に示す。この場合には、

$$d_1 = 36 \times (2m_1 + 1) \pm 5 \text{ nmの範囲} \quad (\text{但し, } m_1 = 0, 1, 2, \dots)$$

$$d_2 = 30 \times (2m_2 + 1) \pm 7 \text{ nmの範囲} \quad (\text{但し, } m_2 = 0, 1, 2, \dots)$$

に膜厚を収めるように(図16中、斜線を付した領域を参照)、第1層及び第2層を形成すれば、位相差の振幅を1度以内に抑えることができる。実際には、位相差の振幅を例えば5度以内に抑えるように、第1層及び第2層の膜厚 $d_1$ 、 $d_2$ を設定すればよい。

【0055】(実施例11) 実施例6～実施例10においては、多重干渉防止膜16を基板10の裏面に形成した。一方、実施例11は、本発明の第4の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクに関する。即ち、実施例11のハーフトーン型位相シフトマスクは、両面が平行な基板の表面側に光透過領域と半遮光領域が形成され、基板の少なくとも表面に(実施例11においては表面のみに)多層の多重干渉防止膜が形成されている。図18の(A)、(B)及び(C)に実施例11のハーフトーン型位相シフトマスクの模式的な一部断面図を示す。尚、図示しないが、多重干渉防止膜を基板の両面に形成してもよい。また、基板の一方の面に単層の多重干渉防止膜を形成し、他方の面に多層の多重干渉防止膜を形成してもよい。

【0056】実施例6～実施例11のハーフトーン型位相シフトマスクは、実質的には実施例1～実施例5のハーフトーン型位相シフトマスクと同様の作製方法で作製することができるので、作製方法の説明は省略する。尚、多層構造を有する多重干渉防止膜にあっては、3層以上から多重干渉防止膜を構成することもできる。また、実施例6～実施例11において、多重干渉防止膜を構成する第1層と第2層の上下の配列を逆にしてもよい。更には、2層以上において、各層を構成する材料を複素屈折率の虚数部の値が0でない態様とすることもできる。

【0057】(実施例12) 実施例12～実施例16は、再び本発明の第1の態様に係るハーフトーン型位相シフトマスクに関する。実施例1～実施例5においては、多重干渉防止膜を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値は0であった。一方、実施例12～16においては、多重干渉防止膜は単層から成るが、かかる多重干渉防止膜を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値が0で

はないものを用いた。尚、実施例12～実施例16におけるハーフトーン型位相シフトマスクの構造を、図1の(A)と同様の構造の基板掘込み型とした。

【0058】実施例1～実施例5においては、光学系における反射防止技術に基礎を置き、基板10に透明な多重干渉防止膜（即ち、複素屈折率 $k$ の値が0の材料）を形成することにより、基板10の厚さの変化に起因した位相差の振動を抑制した。しかし、本発明の本質的な目的は、ハーフトーン型位相シフトマスクの位相差を一定に保つことにある。従って、光を吸収しない材料から多重干渉防止膜を構成する必然性はない。そこで、例えば、基板10の裏面に形成する多重干渉防止膜を構成する材料として光吸収性を有する材料を用いた場合の多重干渉防止膜（この場合、言い換えれば、位相差振動防止膜といえる）としての最適条件を求めた。

【0059】即ち、実施例12においては、基板10の裏面に単層の多重干渉防止膜を形成する。この場合、多

$$(n_1, k_1, d_1) = (1.6, 0.25, 88 \text{ nm}) \\ (1.6, 0.17, 165 \text{ nm}) \\ (1.6, 0.12, 241 \text{ nm})$$

の3つの組み合わせが、位相差の振動防止条件として有効である。但し、これらの組み合わせは、所謂反射防止条件は満たしていない。従って、このような $(n_1, k_1, d_1)$ を有する多重干渉防止膜を基板の裏面に形成しても、露光光の反射は起こる。言い換えれば、かかる多重干渉防止膜は、反射防止膜としては機能しておらず、振動防止膜としてだけ機能している。実際には、位相差の振幅を例えば5度以内に抑えるように、 $(n_1, k_1, d_1)$ を設定すればよい。図20のコンター図から、位相差の振幅を5度以内に収める $(n_1, k_1, d_1)$ の値は、 $(1.6, 0.14 \sim 0.38, 80 \sim 100 \text{ nm})$ 、 $(1.6, 0.10 \sim 0.27, 150 \sim 180 \text{ nm})$ 、 $(1.6, 0.07 \sim 0.22, 225 \sim 260 \text{ nm})$ となる。

【0061】（実施例13）CVD法にて成膜した $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 膜は、原料ガスの供給比を変えることにより複素屈折率の実数部及び虚数部の値を制御できることが知られている。例えば、文献 "Practical resolution enhancement effect by new complete anti-reflective layer in KrF laser lithography", T. Ogawa, et al, SPIE vol.1927, Optical/Laser Microlithography, VI(1993), pp.263-274 を参照。この性質を利用して振動防止条件を満たすような複素屈折率を有する $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 膜から成る単層の多重干渉防止膜を基板の裏面に形成することにより、今までの実施例と同様の位相差の振動防止効果が得られる。

【0062】この文献によれば、KrFエキシマレーザ光( $\lambda = 248 \text{ nm}$ )を用いる場合においては、図21の(A)に示すように、 $\text{SiH}_4/\text{N}_2\text{O}$ のガス供給割合

$$(n_1, k_1, d_1) = (1.8, 0.15, 141 \text{ nm})$$

重干渉防止膜を構成する材料の複素屈折率の実数部の値 $n_1$ を1.229（理想的な反射防止膜の屈折率）とし、複素屈折率の虚数部の値 $k_1$ の値と膜厚 $d_1$ の関係を求めた。この結果を示すコンター図を、図19に示す。この場合、反射防止条件と位相差の振動防止条件は一致しており、

$$k_1 = 0$$

$$d_1 = \lambda (2m+1) / 4n_1 = 50 \times (2m+1) \text{ nm}$$

で位相差の振幅は最小となる。

【0060】また、多重干渉防止膜を構成する材料の複素屈折率の実数部の値 $n_1$ を1.6とし、複素屈折率の虚数部の値 $k_1$ の値と膜厚 $d_1$ の関係を求めた。この結果を示すコンター図を、図20に示す。図20から明らかに、複素屈折率の実数部の値 $n_1$ が理想値からはずれた場合には、 $k_1 = 0$ 以外のところで位相差の振幅が1度以下になる。この例では、図20に示した計算領域だけでも、

$$(n_1, k_1, d_1) = (1.6, 0.25, 88 \text{ nm}) \\ (1.6, 0.17, 165 \text{ nm}) \\ (1.6, 0.12, 241 \text{ nm})$$

に拘らず、 $n_1$ の値はほぼ一定( $n_1$ は約2.1)である。一方、図21の(B)に示すように、 $\text{SiH}_4/\text{N}_2\text{O}$ のガス供給割合が増加するに従い、 $k_1$ の値は増加する。

【0063】PECVD装置等に依存するが、このような $(n_1, k_1)$ の値を求めるために、 $\text{SiH}_4/\text{N}_2\text{O}$ のガス供給割合を変化させて $\text{SiO}_x\text{N}_y$ を成膜する試験を行った。

使用ガス :  $\text{SiH}_4/\text{N}_2\text{O} = 50/25 \sim 100 \text{ sccm}$

成膜温度 :  $360^\circ \text{C}$

RFパワー :  $190 \text{ W}$

圧力 :  $3.3 \times 10^2 \text{ Pa}$  (2.5 Torr)

成膜時間 : 5秒

$\text{SiH}_4$ ガス供給量を $50 \text{ sccm}$ 一定量とし、 $\text{N}_2\text{O}$ ガス供給量を $25 \sim 100 \text{ sccm}$ まで変化させて得られた多重干渉防止膜の複素屈折率の実数部の値 $n_1$ 及び虚数部の値 $k_1$ の値を図22に示す。この $n_1$ 及び $k_1$ の値を $(n_1, k_1)$ 曲線として、図23にプロットした。

【0064】 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ 膜の複素屈折率の実数部の値 $n_1$ を1.5～2.3の範囲として、位相差の振動防止条件を計算したところ、図23に示したような3本の直線上の $(n_1, k_1)$ を選択すれば、位相差の振動を最小に抑えることができることが判明した。これらの直線と $\text{SiO}_x\text{N}_y$ の $(n_1, k_1)$ 曲線（図23中、黒丸で示した）との交点を求めれば、振動防止膜として機能する多重干渉防止膜を $\text{SiO}_x\text{N}_y$ から形成するための条件が求まる。その結果、

$$(n_1, k_1, d_1) = (1.8, 0.15, 141 \text{ nm})$$

(1. 9, 0. 25, 68 nm)  
(2. 2, 1. 8, 2. 5 nm)

の3条件の何れかを満足するようにSiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>を成膜すれば、位相差の振動を1度以内に抑えることができる。実際には、位相差の振幅を例えば5度以内に抑えるように、(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>, d<sub>1</sub>)を設定すればよい。位相差の振幅を5度以内に収める(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>, d<sub>1</sub>)の値は、  
(1. 8, 0. 09~0. 24, 134~148 nm)、  
(1. 9, 0. 15~0. 36, 64~73 nm)、  
(2. 2, 1. 1~2. 8, 1. 3~4. 2 nm)となる。

【0065】尚、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>を成膜するための原料使用ガスとしては、SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>Oの他にも、

SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>  
SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>O/Ar  
SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/Ar  
SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub>/Ar  
SiH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>/O<sub>2</sub>

を例示することができる。このような各種のガスを使用して、図22及び図23と同様のグラフを作成すれば、所望の(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>)の組み合わせを得るためのCVD条件を求めることができる。また、CVD法としては、平行平板PE (Plasma-Enhanced) CVD装置を用いたPECVD法、ECRプラズマCVD法あるいはバイアスプラズマCVD法を挙げることができる。

【0066】(実施例14) 実施例13と同様の性質を有する物質としてSiO<sub>x</sub>を挙げることができる。基本的には実施例13と同様の方法でSiO<sub>x</sub>の最適CVD条件を求めて、かかるCVD条件にて基板の裏面にSiO<sub>x</sub>から成る単層の多重干渉防止膜を形成すれば、位相差の振動を1度以内に抑えることが可能である。即ち、実施例13と同様に原料ガスの供給比を変化させたときの(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>)曲線と、位相差の振動防止条件の直線との交点を求めて、かかる(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>)の得られるCVD条件で基板の裏面にSiO<sub>x</sub>から成る多重干渉防止膜を成膜すればよい。尚、SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>ガスを使用し、バイアスECRプラズマCVD法にてSiO<sub>x</sub>から成る多重干渉防止膜を各種成膜条件(SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>のガス供給割合を変化)にて成膜した。成膜されたSiO<sub>x</sub>から成る多重干渉防止膜の(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>)の関係を図24に示す。実施例13と同様に、k<sub>1</sub>とn<sub>1</sub>の関係から得られた所定のCVD成膜条件にて、所定の厚さd<sub>1</sub>のSiO<sub>x</sub>から成る多重干渉防止膜を成膜すればよい。実際には、位相差の振幅を例えば5度以内に抑えるように、(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>, d<sub>1</sub>)を設定すればよい。

【0067】SiO<sub>x</sub>から成る多重干渉防止膜は、以下の方法で成膜することができる。

[平行平板型プラズマCVD装置を使用したプラズマCVD法]

使用ガスの組み合わせ：

SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>  
SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/Ar  
[バイアスECRプラズマCVD法]

使用ガスの組み合わせ：

SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>  
SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/Ar  
TEOS/O<sub>2</sub>  
SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>O  
SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>O/Ar

【0068】尚、SiO<sub>x</sub>を成膜するための原料ガス及びCVD法として、その他、TEOS、OMCTS (Si<sub>4</sub>O(CH<sub>3</sub>)<sub>8</sub>)、HMDS (Si<sub>2</sub>O(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>)等、あるいはこれらのガスとSiH<sub>4</sub>の併用、あるいは又、平行平板型プラズマCVD装置を使用したプラズマCVD法を例示することができる。

【0069】(実施例15) 実施例13と同様の性質を有する物質としてSiCを挙げることができる。基本的には実施例13と同様の方法でSiCの最適CVD条件を求めて、かかるCVD条件にて基板の裏面にSiCから成る単層の多重干渉防止膜を形成すれば、位相差の振動を1度以内に抑えることが可能である。即ち、実施例13と同様に原料ガスの供給比を変化させたときの(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>)曲線と、位相差の振動防止条件の直線との交点を求めて、かかる(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>)の得られるCVD条件で基板の裏面に、所定の厚さd<sub>1</sub>のSiCから成る多重干渉防止膜を成膜すればよい。実際には、位相差の振幅を例えば5度以内に抑えるように、(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>, d<sub>1</sub>)を設定すればよい。

【0070】SiH<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>ガスを使用し、バイアスECRプラズマCVD法にてSiCから成る多重干渉防止膜を、以下に示す各種成膜条件(SiH<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>のガス供給割合を変化)にて成膜した。

使用ガス供給量： SiH<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>=5~10/2,  
5~10 sccm

RFパワー： 300~900 W

圧力： 0. 4×10<sup>-2</sup>~5. 3×10<sup>-1</sup> Pa

【0071】成膜されたSiCから成る多重干渉防止膜の(n<sub>1</sub>, k<sub>1</sub>)の関係を図25に示す。実施例13と同様に、k<sub>1</sub>とn<sub>1</sub>の関係から得られた所定のCVD成膜条件にて、所定の厚さd<sub>1</sub>のSiCから成る多重干渉防止膜を成膜すればよい。尚、SiCから成る多重干渉防止膜は、CVD法以外にもスパッタ法にて成膜することが可能である。SiCから成る多重干渉防止膜は、他にも以下の方法で成膜することができる。

[熱CVD法]

使用ガスの組み合わせ：

SiCl<sub>4</sub>/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>/H<sub>2</sub>

$\text{SiHCl}_3/\text{C}_3\text{H}_8/\text{H}_2$

$\text{SiCl}_4/\text{CH}_4/\text{H}_2$

$\text{SiH}_4/\text{C}_3\text{H}_8/\text{H}_2$

$\text{SiH}_4/\text{C}_2\text{H}_4/\text{H}_2$

CVD法の条件:

温度:  $100^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$

圧力:  $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^5 \text{ Pa}$

より好ましくは  $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5 \text{ Pa}$

[プラズマCVD法による光化学反応を利用]

使用ガスの組み合わせ:

$\text{Si}_2\text{H}_6/\text{Si}(\text{CH}_3)_3/\text{C}_2\text{H}_2$

[ECRプラズマCVD法]

使用ガスの組み合わせ:

$\text{SiH}_4/\text{CH}_4/\text{H}_2$

$\text{SiH}_4/\text{C}_2\text{H}_4$

$\text{SiH}_4/\text{C}_2\text{H}_4/\text{H}_2$

[スパッタ法]

ターゲット:  $\text{SiC}$

【0072】(実施例16) 実施例13と同様の性質を有する物質として  $\text{SiN}_x$  を挙げることができる。基本的には実施例13と同様の方法で  $\text{SiN}_x$  の最適CVD条件を求めて、かかるCVD条件にて基板の裏面に  $\text{SiN}_x$  から成る単層の多重干渉防止膜を形成すれば、位相差の振動を1度以内に抑えることが可能である。即ち、実施例13と同様に原料ガスの供給比を変化させたときの  $(n_1, k_1)$  曲線と、位相差の振動防止条件の直線との交点を求めて、かかる  $(n_1, k_1)$  の得られるCVD条件で基板の裏面に、所定の厚さ  $d_1$  の  $\text{SiN}_x$  から成る多重干渉防止膜を成膜すればよい。実際には、位相差の振幅を例えば5度以内に抑えるように、 $(n_1, k_1, d_1)$  を設定すればよい。

【0073】  $\text{SiN}_x$  は、平行平板PECVD装置を用いたPECVD法、ECRプラズマCVD法あるいはバイアスプラズマCVD法によって成膜することができる。例えばPECVD法において、 $\text{SiH}_4/\text{NH}_3$  ガスを使用し、 $\text{SiH}_4/\text{NH}_3$  のガス供給割合を変化させると、図22に示したとほぼ同様の  $n_1$  と  $k_1$  の関係が求まる。即ち、KrFエキシマレーザ光 ( $\lambda = 248 \text{ nm}$ ) を用いる場合においては、 $\text{SiH}_4/\text{NH}_3$  のガス供給割合に拘らず、 $n_1$  の値はほぼ一定 ( $n_1$  は1.9~2.2程度) である。一方、 $\text{SiH}_4/\text{NH}_3$  のガス供給割合が増加するに従い、 $k_1$  の値は増加する。従って、所定の  $(n_1, k_1, d_1)$  の値を有する  $\text{SiN}_x$  から成る多重干渉防止膜を、図23に示したと同様の関係から得られた所定のCVD成膜条件にて成膜すればよい。

【0074】尚、使用ガスとしては、 $\text{SiH}_4/\text{NH}_3$  の他にも、

$\text{SiH}_2\text{Cl}_2/\text{NH}_3$

$\text{SiH}_2\text{Cl}_2/\text{NH}_3/\text{Ar}$

$\text{SiH}_4/\text{N}_2/\text{Ar}$

$\text{Si}_2\text{H}_6/\text{NH}_3$

$[(\text{CH}_3)_2\text{N}]_3\text{SiN}_3$

$[(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{N}]_3\text{SiN}_3$

$(\text{CH}_3)_3\text{SiN}_3$

$(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{SiN}_3$

$(\text{Cp}_2\text{N})_3\text{SiN}_3$

$\text{Cp}_3\text{SiN}_3$

を例示することができる。尚、Cpはシクロペンタンの略である。このような各種のガスを使用して、図22及び図23と同様のグラフを作成すれば、所望の  $(n_1, k_1, d_1)$  の組み合わせを得るためのCVD条件を求めることができる。

【0075】実施例12~実施例16においては、基板掘込み型のハーフトーン型位相シフトマスクを用いたが、図8に示したと同様の構造を有するハーフトーン型位相シフトマスクであってもよい。また、多重干渉防止膜を基板の裏面に形成する代わりに、図10の(A)、(B)及び(C)に示したと同様の構造とすることもできる。

【0076】以上、本発明を好ましい実施例に基づき説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。実施例にて説明した数値や各種条件は例示であり、適宜変更することができる。

【0077】所望のパターンを有する本発明のハーフトーン型位相シフトマスクを露光装置にセットし、波長  $\lambda$  の露光光にてハーフトーン型位相シフトマスクを照射し、ハーフトーン型位相シフトマスクを通過した光を、例えばウエハ上に形成された絶縁層(基体に相当する)上のレジスト材料上に結像させる。こうして、露光されたレジスト材料を現像し、レジスト材料をマスクとして例えば絶縁層をエッチングする。その結果、絶縁層にコンタクトホールパターンや孤立スペースパターンを形成することができる。

【0078】ハーフトーン型位相シフトマスクの作製工程で用いた各種材料は適宜変更することができる。半遮光層20を構成する材料はクロムに限定されず、タングステン、タンタル、アルミニウムや  $\text{MoSi}_2$  等の光を適当量遮光することができる材料を用いることができる。また、位相シフト層22は、SOGから構成する代わりに、ポリメチルメタクリレート、フッ化マグネシウム、二酸化チタン、ポリイミド樹脂、二酸化珪素、酸化インジウム、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiN}$ 、各種レジスト等、透明な材料であればよい。レジスト30として、ポジ型レジストの代わりにネガ型レジストを用いてもよい。この場合、電子線描画領域はポジ型の場合と逆になる点異なる。また、レジスト30の描画工程では、電子線描画装置の代わりに、レーザ等の描画装置を用いてもよい。

【0079】実施例では位相差の振動の抑制に関して専ら説明を行ってきたが、多重干渉効果を抑えることにより同時に基板の光透過率の変動も低減させることができ

る。一般に、或る膜の光透過率は、たとえ透明であったとしても膜厚により変化する。ハーフトーン型位相シフトマスクにおいて光透過率は重要なパラメータである。基板間あるいは基板の面内厚さばらつきがあるということは、基板間あるいは基板面内において光透過率にばらつきがあることを意味する。従って、ハーフトーン型位相シフトマスクにおける位相シフト効果が、基板間あるいは基板面内でばらつくことになる。本発明のハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、多重干渉防止膜を基板に形成することによって、基板間あるいは基板面内の厚さばらつきを抑制することができ、その結果、光透過率の基板間あるいは基板面内ばらつきを有効に低減することが可能である。

#### 【0080】

【発明の効果】本発明のハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、ハーフトーン型位相シフトマスク内の多重干渉効果を抑えることにより、基板間あるいは基板面内の基板厚さばらつきによって生じる位相差の変動や光透過率の変動を低減させることができる。その結果、安定したベストフォーカスや焦点深度において、基体上に形成されたレジスト材料を露光することが可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】実施例 1 のハーフトーン型位相シフトマスクの模式的な一部断面図、及び基板の厚さ  $d_s$  と位相差の振幅  $|\theta_1 - \theta_2|$  の関係を示す図である。

【図 2】実施例 1 における基板の厚さ  $d_s$  と位相の変化  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  の関係、及び位相差の変化分  $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$  の関係を示す図である。

【図 3】実施例 1 における多重干渉防止膜の厚さ  $d_1$  及び多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率  $n_1$  をパラメータとしたときの位相差の振幅の計算結果を示す図である。

【図 4】実施例 1 における多重干渉防止膜の厚さを  $0.05 \mu m$  とした場合の多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率  $n_1$  と位相差の振幅  $|\theta_1 - \theta_2|$  の計算結果を示す図である。

【図 5】実施例 2 のハーフトーン型位相シフトマスクにおける基板の厚さ  $d_s$  と位相差の振幅  $|\theta_1 - \theta_2|$  の関係を示す図である。

【図 6】本発明の基板掘込み型のハーフトーン型位相シフトマスクの作製工程を説明するための図である。

【図 7】実施例 3 のハーフトーン型位相シフトマスクの模式的な一部断面図、及び基板の厚さ  $d_s$  と位相差の振幅  $|\theta_1 - \theta_2|$  の関係を示す図である。

【図 8】本発明のハーフトーン型位相シフトマスクの構造を示す模式的な一部断面図である。

【図 9】本発明の基板掘込み型のハーフトーン型位相シフトマスクの作製工程を説明するための図である。

【図 10】実施例 5 のハーフトーン型位相シフトマスクの模式的な一部断面図である。

【図 11】位相差の振幅  $|\theta_1 - \theta_2|$  と多重干渉防止膜の厚さ  $d_1$  の関係を示す図である。

【図 12】多層構造を有する多重干渉防止膜を備えたハーフトーン型位相シフトマスクの模式的な一部断面図、及び、第 1 層に TSP-3 を用いた場合の、TSP-3 の厚さ  $d_1$  と第 2 層を構成する物質の屈折率  $n_2$  の関係を示す図である。

【図 13】実施例 6 における、多重干渉防止膜の第 1 層と第 2 層の膜厚  $d_1$ 、 $d_2$  に対する位相差の振幅のコンター図である。

【図 14】実施例 7 における、多重干渉防止膜の第 1 層と第 2 層の膜厚  $d_1$ 、 $d_2$  に対する位相差の振幅のコンター図である。

【図 15】実施例 8 における、多重干渉防止膜の第 1 層と第 2 層の膜厚  $d_1$ 、 $d_2$  に対する位相差の振幅のコンター図である。

【図 16】実施例 9 における、多重干渉防止膜の第 1 層と第 2 層の膜厚  $d_1$ 、 $d_2$  に対する位相差の振幅のコンター図である。

【図 17】実施例 10 における、多重干渉防止膜の第 1 層と第 2 層の膜厚  $d_1$ 、 $d_2$  に対する位相差の振幅のコンター図である。

【図 18】実施例 11 のハーフトーン型位相シフトマスクの模式的な一部断面図である。

【図 19】実施例 12 における、多重干渉防止膜を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値  $k_1$  と膜厚  $d_1$  の関係を示すコンター図である。

【図 20】実施例 12 における、多重干渉防止膜を構成する材料の複素屈折率の虚数部の値  $k_1$  と膜厚  $d_1$  の関係を示すコンター図である。

【図 21】実施例 13 における、 $SiO_xNy$  の CVD 成膜条件と、 $SiO_xNy$  の複素屈折率の実数部及び虚数部の値  $n_1$ 、 $k_1$  の関係を示す図である。

【図 22】実施例 13 における、 $SiO_xNy$  の CVD 成膜条件と、 $SiO_xNy$  の複素屈折率の実数部及び虚数部の値  $n_1$ 、 $k_1$  の関係を示す図である。

【図 23】実施例 13 における位相差の振動を抑制するための、 $SiO_xNy$  膜の複素屈折率の実数部及び虚数部の値  $n_1$ 、 $k_1$  の関係を示す図である。

【図 24】実施例 14 における位相差の振動を抑制するための、 $SiO_x$  膜の複素屈折率の実数部及び虚数部の値  $n_1$ 、 $k_1$  の関係を示す図である。

【図 25】実施例 15 における位相差の振動を抑制するための、 $SiC$  膜の複素屈折率の実数部及び虚数部の値  $n_1$ 、 $k_1$  の関係を示す図である。

【図 26】従来のエッジ強調型位相シフトマスクの模式的な一部切断図である。

【図 27】従来のハーフトーン型位相シフトマスクの模式的な一部切断図である。

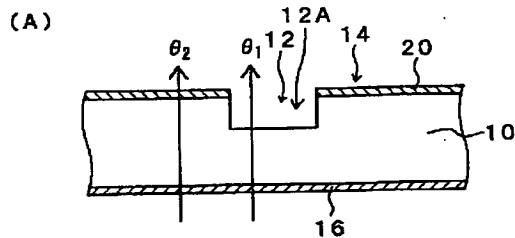
【図 28】従来の基板掘込み型ハーフトーン型位相シフ

トマスクにおいて、基板の厚さ  $d_s$  が変化した場合の、光透過領域を通過した光の位相と半遮光領域を通過した光の位相差の振幅  $|\theta_1 - \theta_2|$  を計算した結果を示す図である。

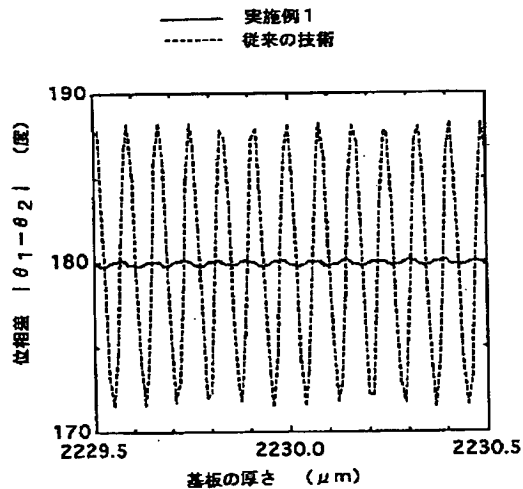
【図29】図27の(C)に示した各々の光路の位相  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  の基板の厚さ  $d_s$  の変化に対する変化を示す図である。

【図30】従来の基板掘込み型ハーフトーン型位相シフトマスクにおいて、基板の厚さが  $0.01\mu\text{m}$  変化した

【図1】



(B)  
(実施例1における基板の厚さと位相差の関係)



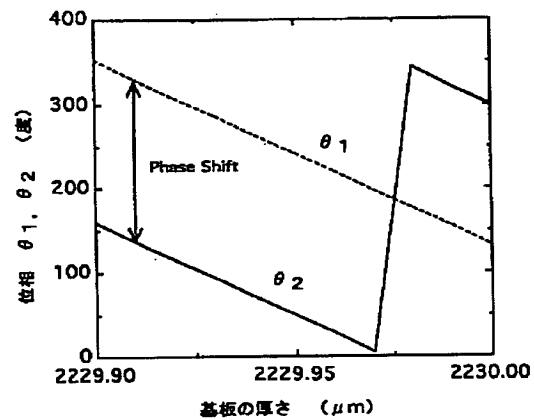
ときの位相  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  の変化分  $\Delta\theta_1$ ,  $\Delta\theta_2$  を示す図である。

【符号の説明】

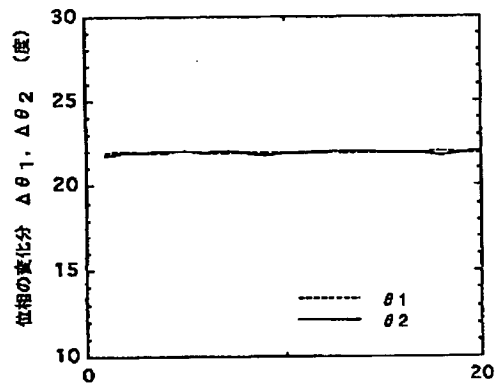
- 10 基板
- 12 光透過領域
- 14 半遮光領域
- 16, 16A 多重干渉防止膜
- 20 半遮光層
- 22 位相シフト層

【図2】

(A) (実施例1における基板の厚さと位相の変化の関係)

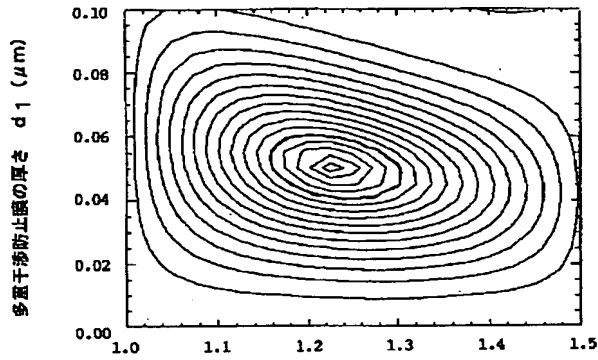


(B) (実施例1における基板の厚さと位相の変化分の関係)



【図3】

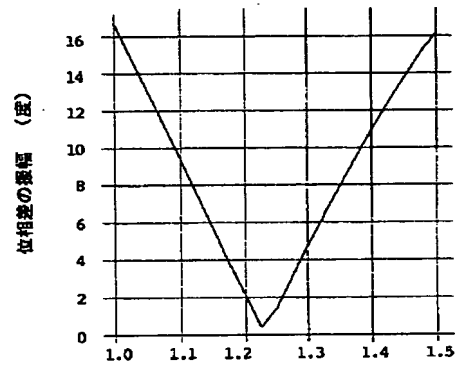
(実施例1における多重干渉防止膜の厚さ  
及び多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率を  
パラメータとしたときの位相差の振幅計算結果)



多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率  $n_1$

【図4】

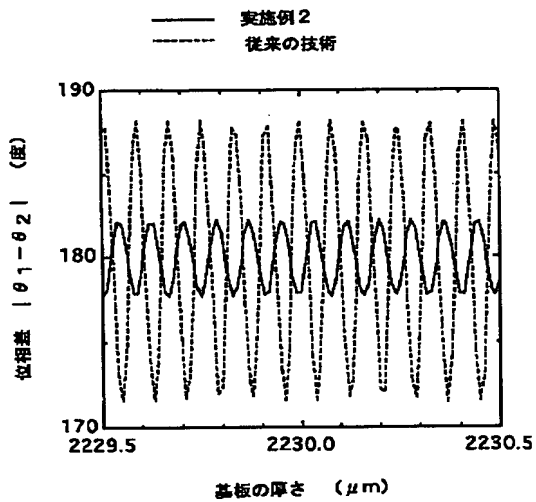
(実施例1における多重干渉防止膜の厚さを  
 $0.05 \mu\text{m}$ とした場合の  
多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率と  
位相差の振幅の関係)



多重干渉防止膜を構成する材料の屈折率  $n_1$

【図5】

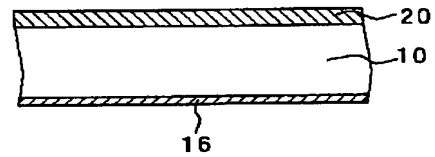
(実施例2における基板の厚さと位相差の関係)



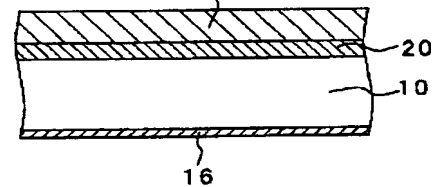
基板の厚さ ( $\mu\text{m}$ )

【図6】

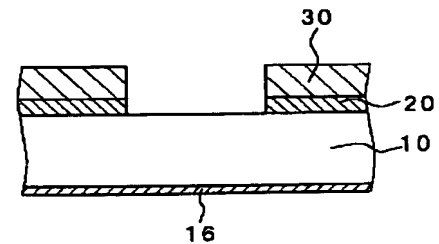
(A)



(B)

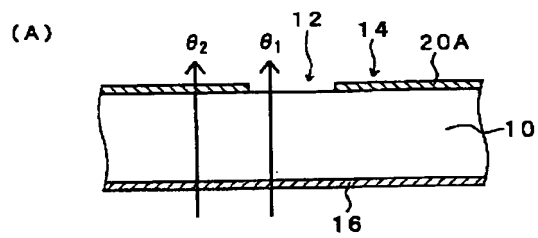


(C)

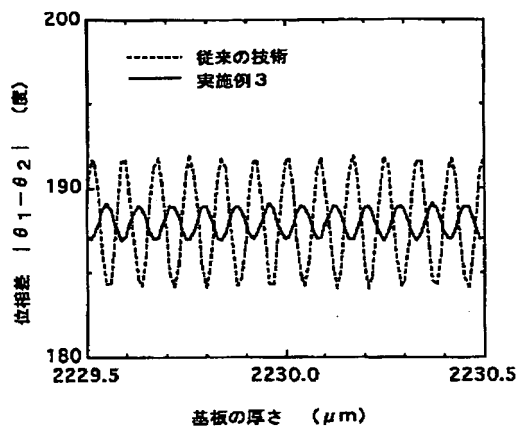




【図7】

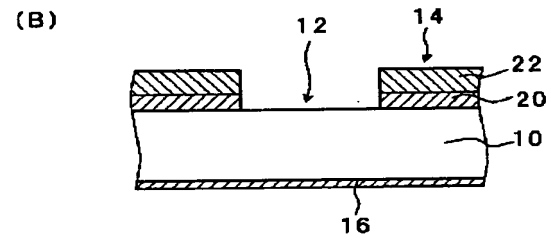
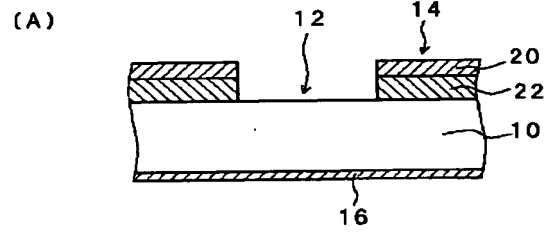


(B) (実施例3における基板の厚さと位相差の関係)

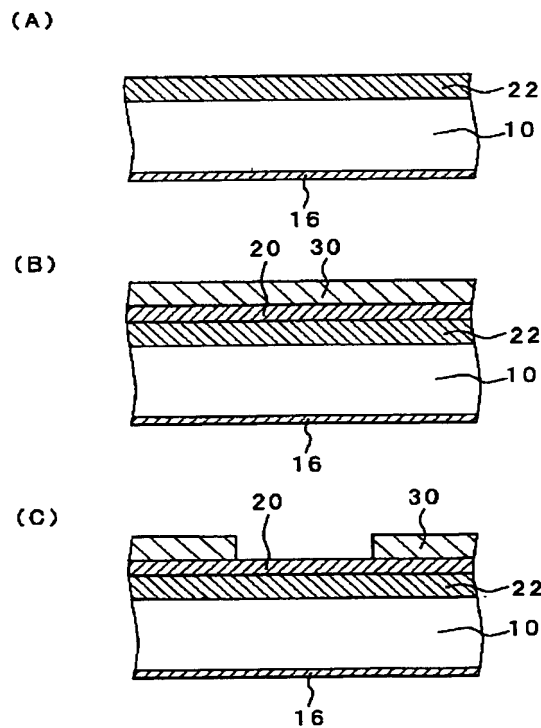


【図8】

(本発明のハーフトーン型位相シフトマスクの変形例)

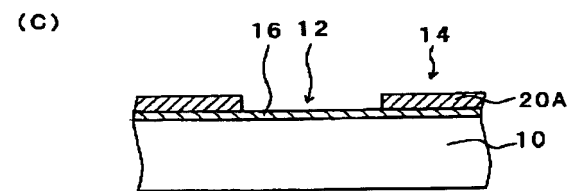
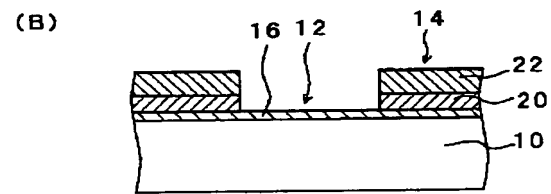
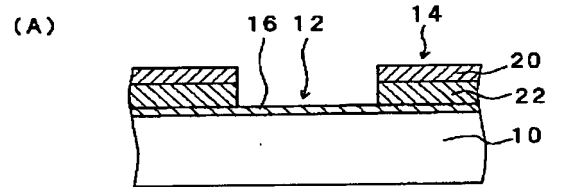


【図9】



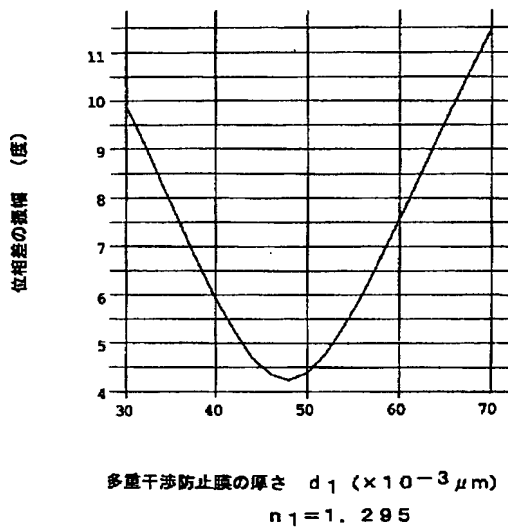
【図10】

(実施例5のハーフトーン型位相シフトマスク)



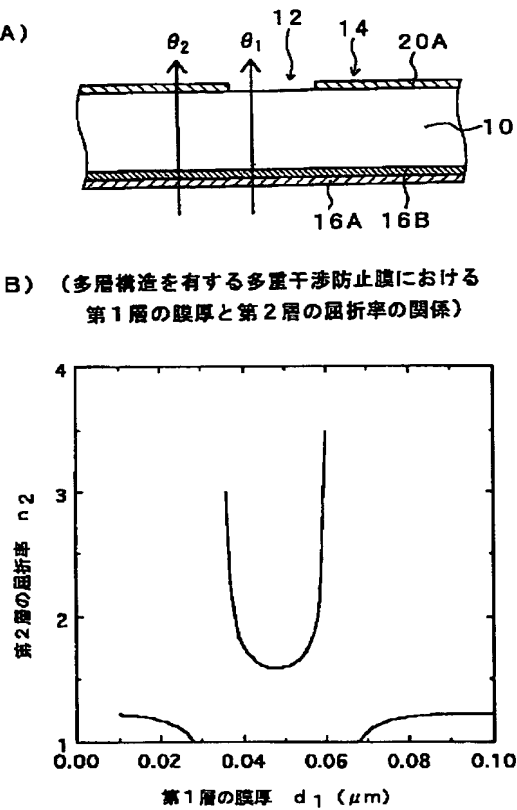
【図11】

(位相差の振幅と多重干渉防止膜の厚さの関係)(A)



【図12】

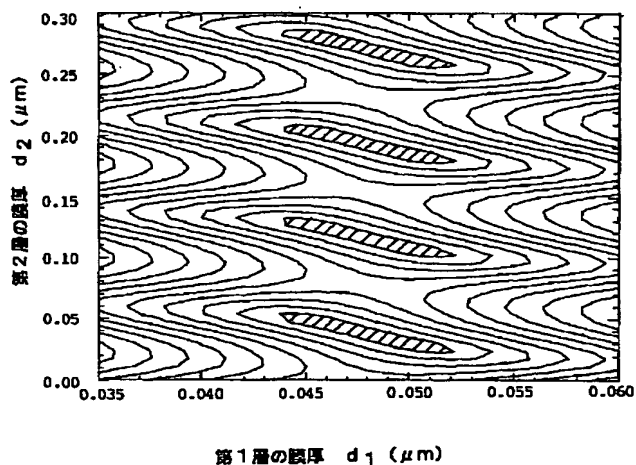
(B) (多層構造を有する多重干渉防止膜における第1層の膜厚と第2層の屈折率の関係)



【図13】

(実施例6のコンター図)

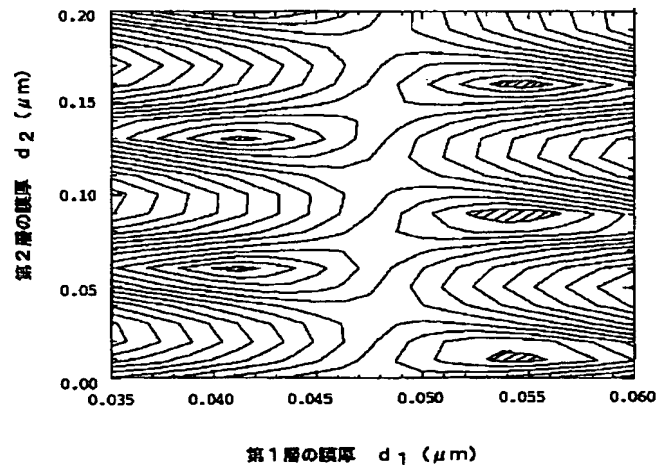
第1層: TSP-3 ( $n_1 = 1.295$ ,  $k_1 = 0$ )  
 第2層: KCl ( $n_2 = 1.60$ ,  $k_2 = 0$ )



【図14】

(実施例7のコンター図)

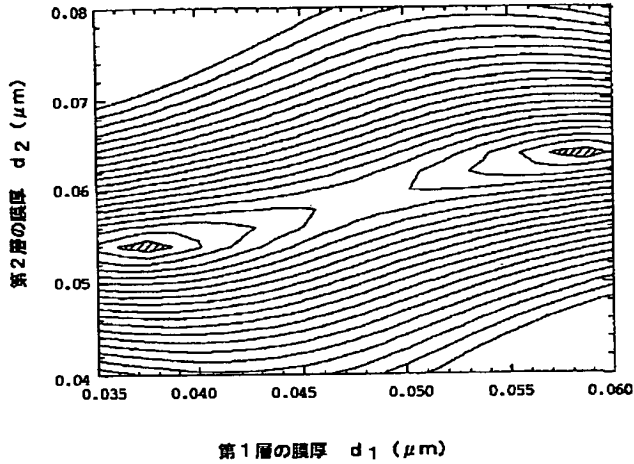
第1層: TSP-3 ( $n_1 = 1.295$ ,  $k_1 = 0$ )  
 第2層: SiON ( $n_2 = 1.7$ ,  $k_2 = 0$ )



【図15】

(実施例8のコンター図)

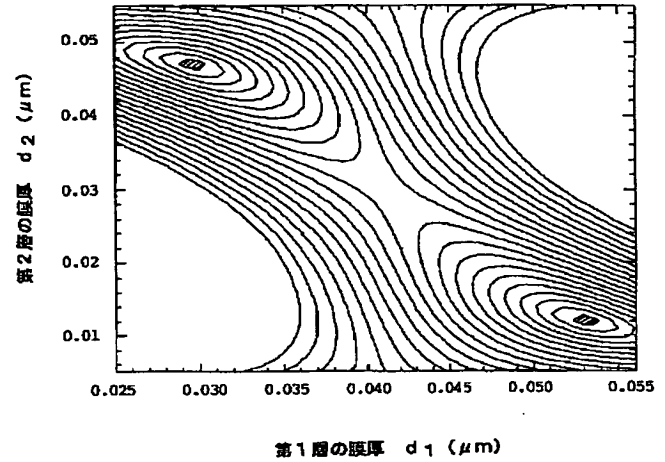
第1層: TSP-3 ( $n_1=1.295$ ,  $k_1=0$ )  
 第2層: SiN ( $n_2=2.1$ ,  $k_2=0$ )



【図16】

(実施例9のコンター図)

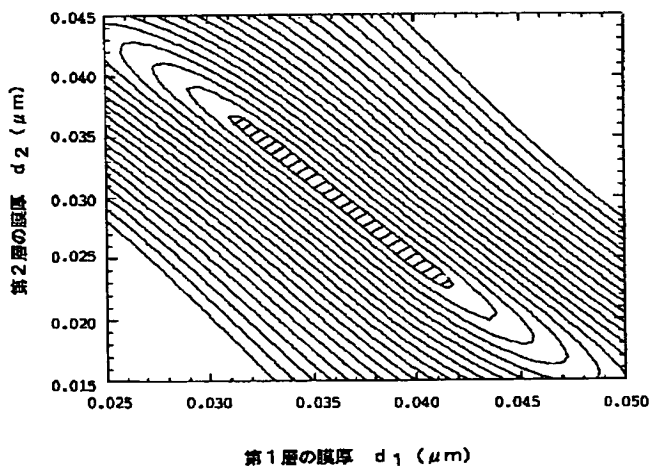
第1層: TSP-5 ( $n_1=1.50$ ,  $k_1=0$ )  
 第2層: SiN ( $n_2=2.1$ ,  $k_2=0$ )



【図17】

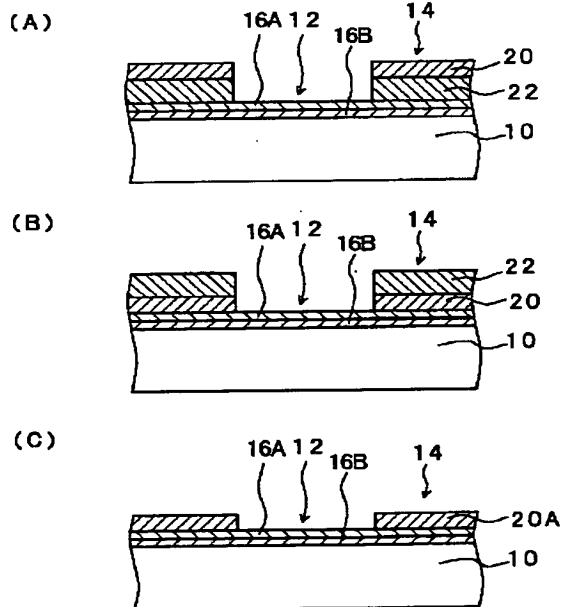
(実施例10のコンター図)

第1層: SiON ( $n_1=1.70$ ,  $k_1=0$ )  
 第2層: SiN ( $n_2=2.1$ ,  $k_2=0$ )



【図18】

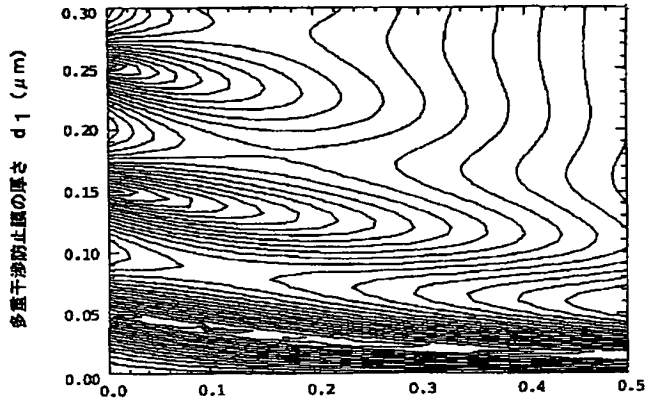
(実施例11のハーフトーン型位相シフトマスク)



【図19】

(実施例12のコンター図)

単層の多重干渉防止膜における $k_1$ と $d_1$ の関係  
 $n_1 = 1.229$

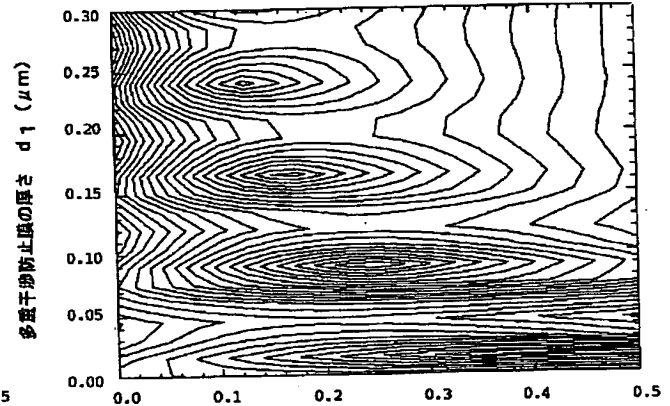


多重干渉防止膜を構成する材料の  
 複素屈折率の虚数部 $k_1$ の値

【図20】

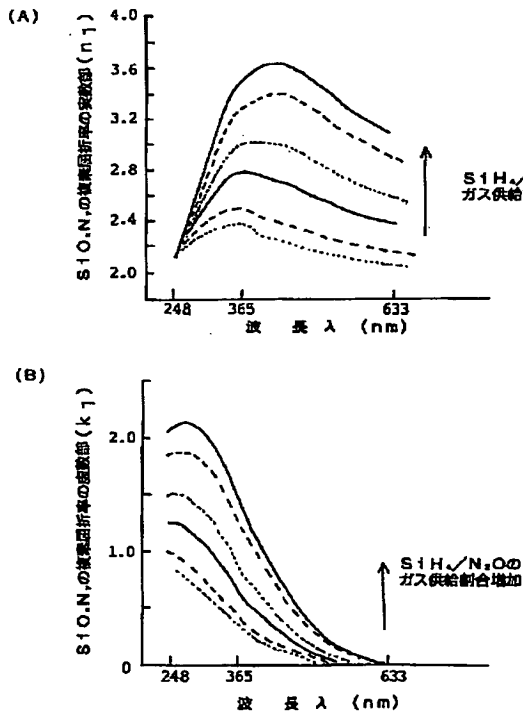
(実施例12のコンター図)

単層の多重干渉防止膜における $k_1$ と $d_1$ の関係  
 $n_1 = 1.6$



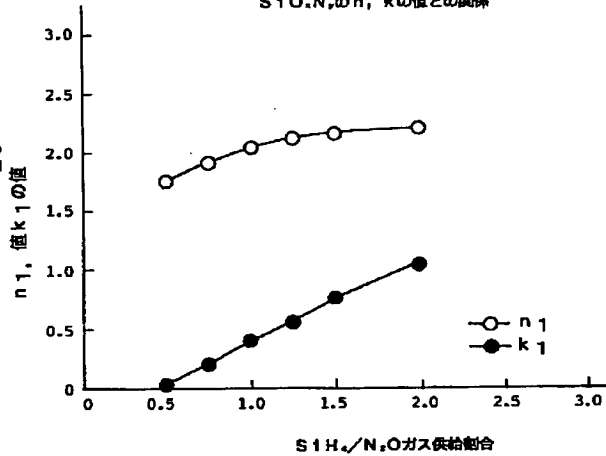
多重干渉防止膜を構成する材料の  
 複素屈折率の虚数部 $k_1$ の値

【図21】

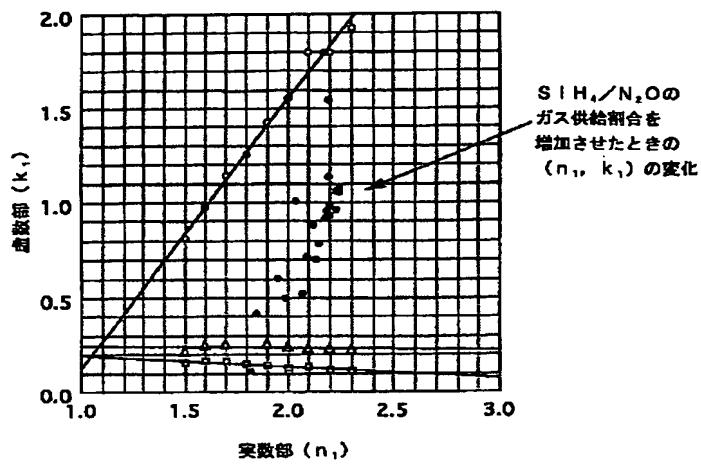


【図22】

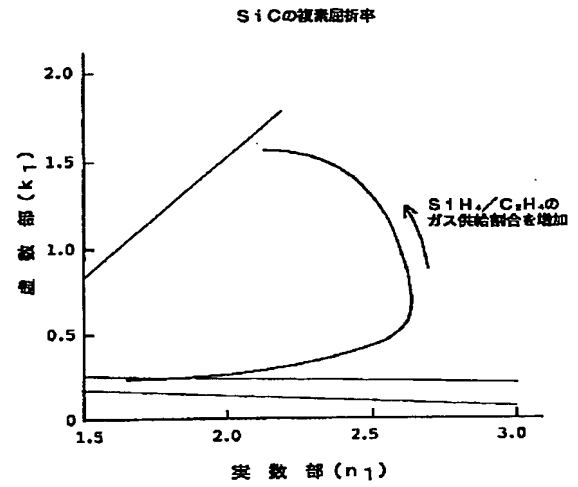
SiH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>Oガス供給割合と成膜された  
 SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>の $n_1$ ,  $k_1$ の値との関係



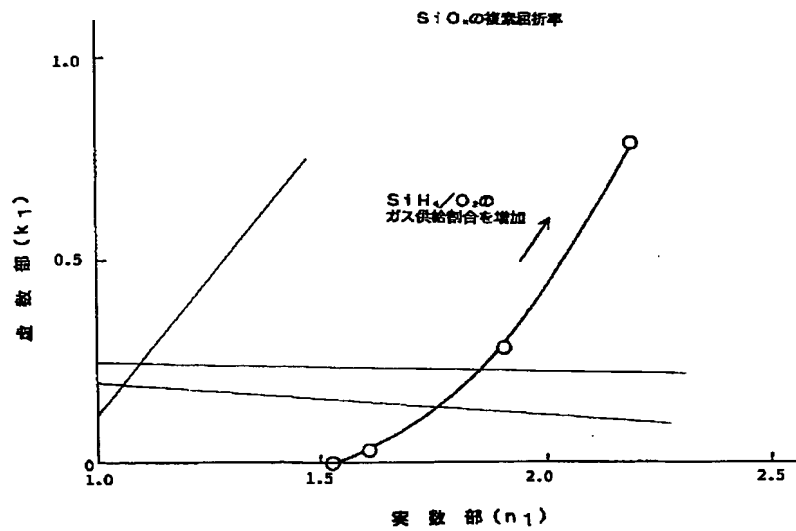
【図23】



【図25】

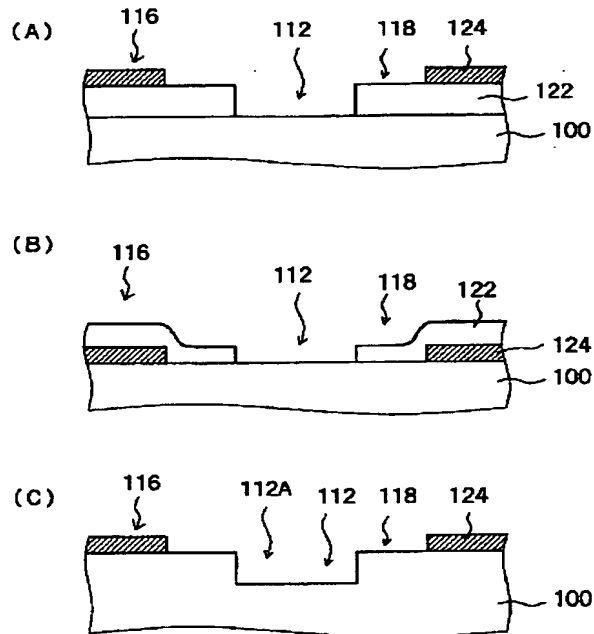


【図24】

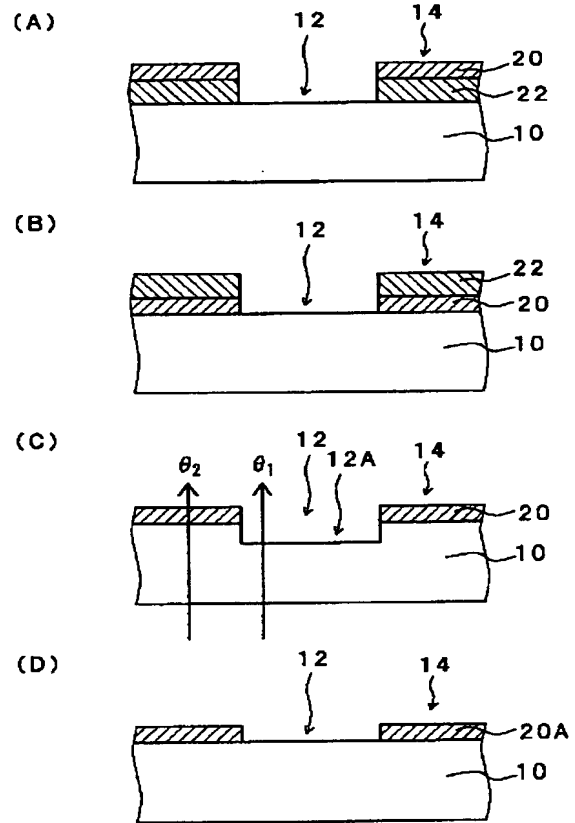


【図 26】

(従来の位相シフトマスク)

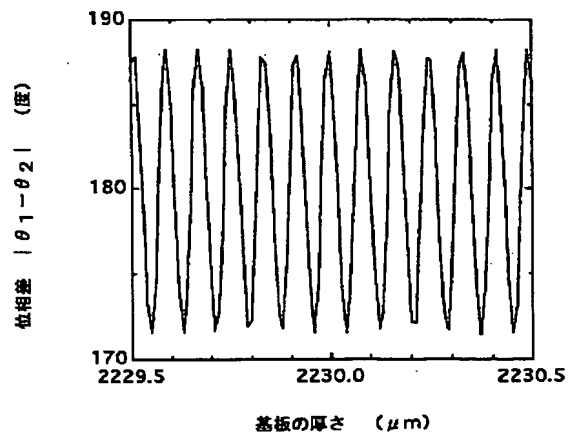


【図 27】



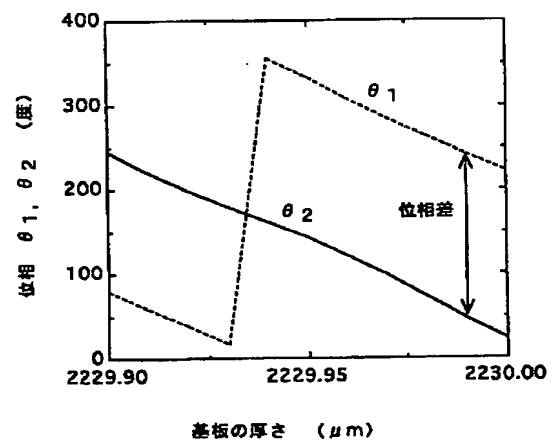
【図 28】

(従来の基板掘込み型ハーフトーン型位相シフトマスクにおける基板の厚さと位相差の関係)



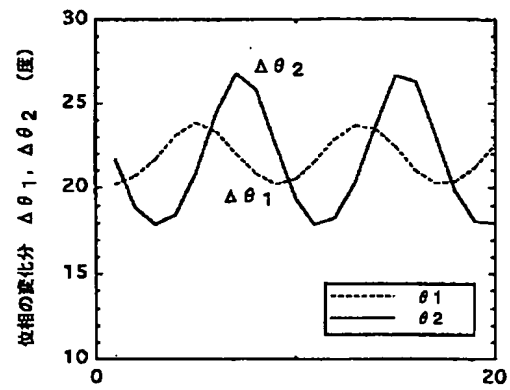
【図 29】

(従来の基板掘込み型ハーフトーン型位相シフトマスクにおける基板の厚さと位相の変化の関係)



【図30】

(従来の基板掘込み型ハーフトーン型位相シフトマスク  
における基板の厚さと位相の変化分の関係)



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**